

# 試 験 研 究

# 1. 研究成果

## 八浜農場での熱収支

楊冬梅（岡山大学大学院自然科学研究科）  
岩田 徹・三浦健志（岡山大学環境理工学部）

### はじめに

太陽から地表面に与えられた熱エネルギーは、顕熱や潜熱に変換されるが、地表面の種類や状態によってその配分比率が変わり、大気に及ぼす効果は異なる。従来から、いろいろな地表面において熱収支に関する研究が行われており、裸地面ではその収支は釣り合っているとされている（例えば、古藤田, 1984; 近藤, 1995; Seo, 1958）。しかし、森林などの複雑地形上で渦相関法を用いた測定では熱収支が閉じないと指摘されている（Finnigan *et al.*, 2003）。我々の研究目的は、裸地と森林の中間的な粗度面である水稻群落圃場での熱収支を明らかにすることである。特に、圃場の土壌及び灌漑水の貯熱量に注目し解析を行った。

### 観測場所

観測は岡山大学農学部附属八浜農場(34°32'N, 133°56'E)で行った。八浜農場は、岡山市の南方約20km, 岡山県玉野市の児島湾干拓地にあり、面積は約300×300m<sup>2</sup>である。周辺は、私有地であるが、同じような水田が広がっている。卓越風の風向は夏には南東～南西、冬には北西であり、最短の吹送距離は南方向で約500mである。

熱収支に関係する観測項目は下表の通り。風速、気温、水蒸気、二酸化炭素などの変動信号は10Hzでサンプリングし、ハードディスクに記録。純放射、気温、地中温度、地中熱流量、水温などの信号は30秒毎にサンプリングし、ハードディスクに記録。顕熱、潜熱、その他の気象要素等は30分平均値に統一した。

観測要素等		サンプリングレイト
変動成分	風速, 気温, 二酸化炭素, 水蒸気	0.1 sec
平均成分	純放射, 地中熱流量, 気温 地中温度 (1, 5, 10, 20, 50cm) 水温 (5cm)	30 sec

### 熱収支解析方法

地表層の熱収支はエネルギー保存則により、次のように表される。

$$NR = H + LE + G$$

ここで、NRは純放射、Hは顕熱フラックス、LEは潜熱フラックス、Gは貯熱変化量である。顕熱と潜熱のフラックスは渦相関法によって測定した。

今回の研究で最も留意した貯熱変化量の求め方を

述べる。貯熱変化量Gは次式で表される。

$$G = G_s + G_w + G_p$$

ただし、G<sub>s</sub>は土壌の貯熱変化量、G<sub>w</sub>は水田灌漑水の貯熱変化量、G<sub>p</sub>は植物群落の貯熱変化量である。今回は、次のような検討結果をふまえて、このG<sub>p</sub>の影響を無視した。G<sub>p</sub>は、畦間気層の平均気温を $\theta$ 、その層の平均比熱をC<sub>p</sub>、平均質量を $m$ とすれば、 $G_p = C_p m d\theta/dt$ で評価される。 $\theta$ として畦間

中0.5mの高さの気温を使って $d\theta/dt$ を観測値より求める。 $C_p m$ の値は水稻体の比熱と密度で決まる。水稻水分を80%, 実際的水稻植栽密度を考慮すれば, 八浜農場の水稻群落の8~9月の $C_p m$ は約 $8 \times 10^3 \text{ J deg}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 程度である。これに畦間気温の $d\theta/dt$ 値を掛けると,  $G_p$ は最大でも約 $4 \text{ Wm}^{-2}$ であり,  $G_s$ ,  $G_w$ に比べると小さい。この結果は, Seo (1958)の報告と同じ内容である。

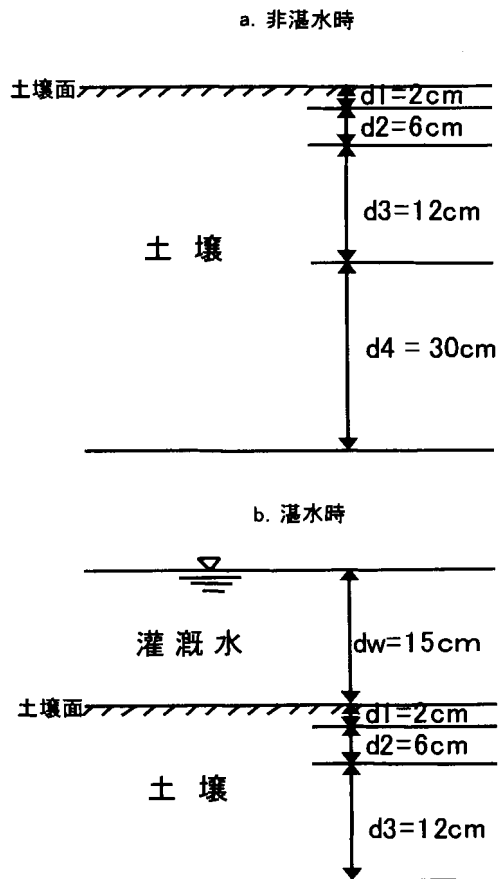


図1 貯熱量算出モデル

土壌温度の日変化が $1^\circ\text{C}$ 以下になる深さは, 灌漑水の有無で異なった。灌漑水がない場合には約50cm, 灌漑水がある場合には約20cmであった。灌漑水がない場合 (図1 a)について $G_s$ の計算法を示す。深さ50cmまでの土層を $d_1$ から $d_4$ までの4層分ける。 $G_s$ は次式で求まる。

$$G_s = \sum C_{s_i} \rho_{s_i} d_{s_i} \Delta T_{s_i} / \Delta t$$

ここで,  $C_s$ は比熱,  $\rho_s$ は密度,  $d_s$ は土層の深さ,  $\Delta T_s / \Delta t$ は単位時間の温度変化である。実際に $G_s$ を計算するには,  $C_s$ と $\rho_s$ は全層で同じとし, 温度

は各層の中間部分の実測値を用いた。

また, 灌漑水がある場合には図1 bのように土層は $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ の3層にし, 次式で算出する灌漑水の貯熱変化量 $G_w$ を $G_s$ に加えて $G$ とした。

$$G_w = C_w \rho_w d_w \Delta T_w / \Delta t$$

## 水田での熱収支の結果及び考察

### 1) 灌漑水のない場合

灌漑水のない日の例として, 水稻の生育が最も旺盛な時期である2002年8月4~6日を選んだ。 $H$ ,  $LE$ ,  $G_s$ を計算し, 図2に示す。 $G_s$ の最大値は約 $300 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $H$ の最大値は約 $50 \text{ Wm}^{-2}$ である。それらに比べると,  $LE$ は大きく, 最大値は約 $500 \text{ Wm}^{-2}$ に達している。

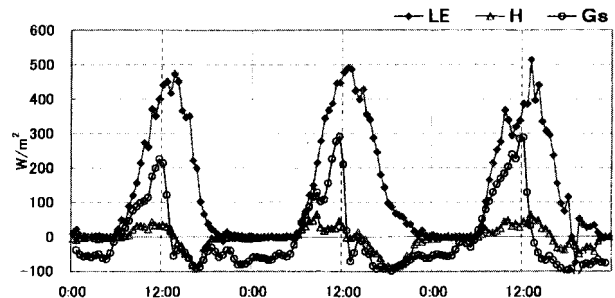


図2 灌漑水のない日の $H, LE, G_s$  (8月4~6日)

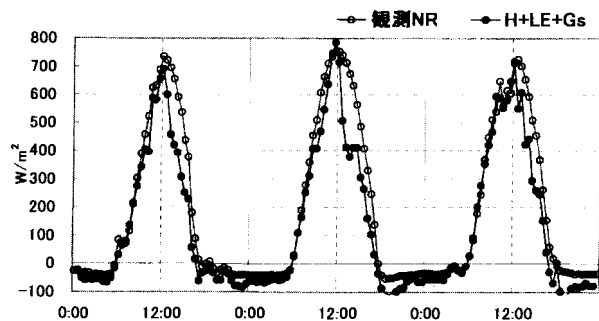


図3 灌漑水のない日の $NR$ と $H+LE+G_s$  (8月4~6日)

$H$ ,  $LE$ と $G_s$ の合計値と $NR$ との比較を図3に示す。午前中,  $H$ ,  $LE$ と $G_s$ の合計値は $NR$ と比較的よく一致しているが, 午後の $H$ ,  $LE$ と $G_s$ の合計値は $NR$ より小さい。特に, 午後の $G_s$ の低下が著しい。これは, 観測期間中の圃場は湛水状態ではなかったが, 土壌水分が十分あったため土壌中の熱伝導が良好で土壌各層の温度変化の位相差が小さかったことが原因であると思われる。また, 水田観測では14時頃か

ら $H$ が負になるが、このことも午後の $H$ 、 $LE$ と $G_s$ の合計値を低くする要因である。

## 2) 灌漑水のある場合

灌漑水の有る日の例として、2002年9月3～5日の結果を示す。水田には深さ約15cmの灌漑水が存在していた。 $LE$ の最大値は約400  $W/m^{-2}$ であり、 $G_w$ の最大値は約150  $W/m^{-2}$ であり、 $G_s$ の最大値は約45  $W/m^{-2}$ である（図4）。伝導熱の大部分は灌漑水の層に吸収されている。灌漑水貯熱変化量の最大値は土壌貯熱変化量の約3倍である。

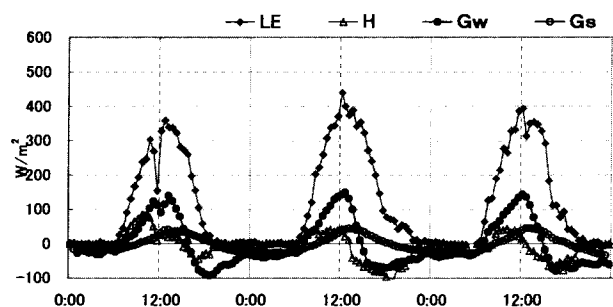


図4 灌漑水のある日の $H$ 、 $LE$ 、 $G_s$ 、 $G_w$ （9月3～5日）

$NR$ と $H$ 、 $LE$ 、 $G_w$ 、 $G_s$ の合計値の比較を図5に示す。 $G_w$ は12時以後で低下しているが、 $G_s$ は13時から14時にピークを示すために、 $H$ 、 $LE$ 、 $G_w$ 、 $G_s$ の合計値は $NR$ の約85%であるが、日変化傾向はよく似ている。今回、観測データに制限されたため、土壌表面から5cmの水温データのみを用いて灌漑水を1層として貯熱量を計算したが、灌漑水の水深が15cmあるため、灌漑水を2層（上5cm、下10cm）として計算すると、精度を一層上げることが可能であろう。

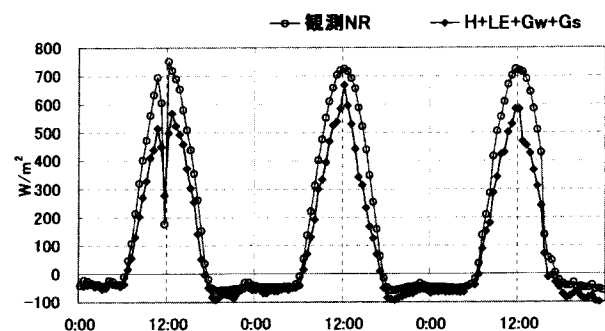


図5 灌漑水のある日の $NR$ と $H+LE+G_w+G_s$ （9月3～5日）

今回の一連の熱収支問題を検討する過程において、熱収支が閉じない原因は、純放射計の測定感度に問題があるのかも知れない、という疑念が生じた。

例えば、Stull（1991）が提案している関係式を使って、八浜における晴天（雲量ゼロ）条件下での最大の $NR$ を計算し、12時における $NR$ の計算値と実測値をまとめると下のようになる。

	実測値	計算値
8月5日	760 $Wm^{-2}$	729 $Wm^{-2}$
9月5日	730	654

$NR$ の実測値は、熱支出各項の合計値より8月の場合は約5%、9月の場合は約10%大きい。もし、実測の $NR$ 値をこの割合だけ小さくすれば、熱収支のインバランス問題は大きく改善されることになる。

## おわりに

水稻生長期における水田での熱収支を明らかにすることを目的として、土壌及び灌漑水の貯熱量に注目し解析を行った。得られた成果は下の通りである。

- 1) 水田での熱収支の各項を測定した。午前中の $NR$ 値は $H$ 、 $LE$ と $G$ の和と一致したが、午後は熱収支各項の合計値は $NR$ より小さかった。 $H$ と $G$ の急低下が主な原因である。特に、午後の $G$ の値を大きくする要素を明らかにすることが必要である。また、灌漑水のある場合、灌漑水を2層に分けたモデルを採用すれば、モデル予測値の精度を上げることが可能であろう。
- 2) 提案したモデルはまだ改善すべき問題を含んでいるが、実用的なものであると考えている。モデルの精度を上げるには、比熱の鉛直分布の正しい測定に基づいた土壌貯熱量、灌漑水の温度分布を考慮した貯熱量、植物群落による貯熱量等を考慮する必要がある。
- 3) 熱収支インバランス問題を検討する場合、最も基本的な測定器である、純放射計の測定感度を再検査する必要がある。

最後になりましたが、快く観測圃場の使用を許して下さった八浜農場の多田正人主任に感謝します。

## 参考文献

古藤田一雄, 1984: 草地の熱収支と蒸発散, 地理学

評論 (第57巻第9号), 611-625.

近藤純正, 1995: 水環境の気象学, 朝倉書店, 150-160pp, 174-175.

Finnigan, J. J., Clement, R., Malhi, Y., Leuning, R. and Cleugh, H. A. 2003: A reevaluation of long-term flux measurement techniques. Part I: Averaging and coordinate rotation. *Boundary-Layer Meteorol.* 107, 1-48.

Seo T. 1958: A microclimatological study of thermal exchange at the earth's surface (II) . *Research Report of the Kochi University*, Vol. 7, No.21, 1-39.

Stull, R. B. 1991: An introduction to boundary layer meteorology, 251-294.

## 2. 技術部の研究継続課題

### クロッピングシステム部門

担当者：山奥 隆・酒井富美子

- ① カンショの本畑採苗法開発
- ② カボチャ栽培におけるエンバク間作の活用
- ③ サトイモにおける親イモの種イモへの活用

### 汎用耕地部門

担当者：多田正人

- ① 水稻栽培における緩効性窒素肥料の肥効試験
- ② 水田の地力向上に対する生わら連用の効果
- ③ 八浜水田におけるカキ殻部分への肥効試験

### 装置化生産部門

#### i. 果樹部

担当者：近藤毅典・永田恵美

- ① 教育・研究用果樹園の整備と管理法
- ② 果樹の特性，管理作業の能率，労力の軽減を考えた果樹の栽培管理法
- ③ 果樹園および緑地における有機物マルチと草

生栽培の利用

- ④ 有機物資材の施用による果樹の生育状況および土壌の変化
- ⑤ パイプハウスを利用したリンゴの雨よけ栽培

#### ii. 野菜・花き部

担当者：山本 昭

- ① 少量培地によるトマトの養液栽培
- ② イチゴ栽培における糖度の向上
- ③ スイカの省力栽培
- ④ カーネーションにおける移植後の高温ストレス回避

### 山地畜産部門

担当者：野久保隆・川畑昭洋

- ① 山地畜産開発による肉用牛の生産技術
- ② 受精卵移植技術を用いた岡山和牛の改良
- ③ 放牧草地における集約的利用管理技術
- ④ 放牧による野草地の省力管理技術

### 3. センターを利用した研究課題一覧

研 究 課 題	利用分野等（学部）
土壌改良剤の灌注	食品生物化学（農）
温州みかん収穫時期の予測調査	食品生物化学（農）
温州みかん実験用サンプリング	食品生物化学（農）
G A 処理したブドウの結実機構	果実発育調節学（農）
カキ果実の軟化抑制に関する研究	農産食品機能学（農）
ウシ妊娠期における胎子胎盤機能と新生子の健康	家畜繁殖学（農）
水稻の窒素，利用効率における品種間差異	作物生産技術学（農）
土壌条件の違いが米の食味に及ぼす影響	作物生産技術学（農）
飼料用水稻品種の乾物生産特性	作物生産技術学（農）
施肥条件の違いが米の食味に及ぼす影響	作物生産技術学（農）
コンポストの施用が水稻の生育収穫に及ぼす影響	作物生産技術学（農）
緩効性肥料の追肥がダイズの開花結実に及ぼす影響	作物生産技術学（農）
ダイズ品種の狭畦栽培への適用	作物生産技術学（農）
ダイズ新品種の生育特性	作物生産技術学（農）
高温がダイズの開花結実に及ぼす影響	作物生産技術学（農）
高温が作物の生育収量に及ぼす影響	作物生産技術学（農）
アゾラー合鴨水稻同時作に関する研究	家畜生産技術学（農）
アヒルー水稻同時作に関する研究	家畜生産技術学（農）
牧場管理技術に関する研究	家畜生産技術学（農）
草地植生の遷移に関する研究	家畜生産技術学（農）
摘果程度の異なるモモ‘清水白桃’における生理的落果の発生	園芸生産技術学（農）
ブドウ‘グローコールマン’の糖蓄積に関する研究	園芸生産技術学（農）
山火事跡地調査	土壌生態管理学（農）
地表面熱収支研究	理学部
赤外線放射温度計の測定値に与える背景放射の影響について	理学部
種々の湿度変動計による潜熱フラックスの比較観測	理学部
水田からの蒸発散量とCO2フラックスの測定	環境理工学部
耕作地での炭素収支	環境理工学部
忌避剤によるフェロモンの誘引阻害効果試験	資源生物科学研究所
乳酸菌発酵産物の温州みかん果実に及ぼす効果の検討	自然科学研究科

## 4. センターを利用した研究の著書・原著論文・報告書・口頭発表一覧

### (1) 原著論文

Oikawa, T., Matsui, H. and Sato, K. :

Simulation study of a genetic improvement program in a population with three sub-populations. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 14: 767-771.

Oikawa, T., Suzuki, K., Kadowaki, H., Shibata, T. and Uchida, H. :

Possibility of major genes and association of *ryr1* gene to meat quality of duroc selected for meat production and meat quality. *Proceedings of 7<sup>th</sup> WCGALP* 31: 419-422.

Uchida, H., Kobayashi, J., Inoue, T., Suzuki, K. and Oikawa, T. :

Current level of reproductive performances in Japanese Black cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 14: 1098-1102.

久保田尚浩・土屋幹夫 :

ブドウ果実の着色に及ぼす成熟期の紫外光照射の影響, 岡山大学農学部学術報告, 91, 55-60.

Kubota, N., Yamane, Y. and Toriu, K. :

Breaking bud dormancy in grape cuttings with non-volatile and volatile compounds of several *Allium* species, *Journal of Japanese Society for Horticultural Science*, 71, 467-472.

### (2) 報告書

岸田芳朗 :

アイガモ水稲同時作 (アイガモ農法) に関する技術－初級編, 第12回全国合鴨フォーラム四国大会要旨集, pp.4-11.

岸田芳朗 :

全国の合鴨農家が直面した技術的問題点とその取り組み事例, そして, 合鴨農法を続けるために寄せられた意見－回収された365件のデータより－, 第12回全国合鴨フォーラム四国大会要旨集, pp.12-25.

岸田芳朗 :

生活環境を修復する常識への挑戦－農薬と化学肥料の役割を演じるアイガモ達－岡山大学環境管理センター公開講演会講演要旨集, pp. 4-12.

岸田芳朗 :

農家が発信する地域における持続的農業技術を成立させるための条件－農家実証から科学へ－, 第11回中国四国地域持続的農業技術研究会講演要旨集, pp. 1-2.

岸田芳朗 :

水生シダ植物アゾラの農業利用, 平成14年度環境保全型稲作現地研究会関西集会講演会資料集, pp. 1-5.

神澤洋平・岸田芳朗 :

水田に放飼したアヒルの行動特性と産肉性, 合鴨通信, 全国合鴨水稲会, 35, pp. 16-17.

森夏奈子・岸田芳朗 :

水禽類における品種と放飼日齢の違いが水稲の生育と収量に与える影響, 合鴨通信, 全国合鴨水稲会, 35, pp. 18-19.

岸田芳朗 :

全国における合鴨農法の技術的問題点とその改善策, 合鴨通信, 全国合鴨水稲会, 36, pp. 9-21.

井上憲一・岸田芳朗 :

アイガモ稲作の作業上の特徴と収益性, 米麦改良, (社) 全国米麦改良協会, 10, pp. 24-33.

福田文夫 :

モモ果実の発育生理と生理的落果, 果樹56:12-14

久保田尚浩・福田文夫 :

ブドウ果実におけるアントシアニンの蓄積と組成に及ぼす紫外光 (UV-A) 照射およびABA処理の影響, 平成12年度～平成14年度科学研究費補助金 (基盤研究 (B) 一般 (1) 研究成果報告書 (代表者: 久保田尚浩, 紫外光照射によるブドウ果実のアントシアニン生成促進とその機構解析), 21-49.



### (3) 口頭発表

金ヶ江崇・磯部直樹・中尾敏彦・山城英和・

窪田浩和・菅野美樹夫・田坂亮代・山本康廣・

奥田潔・野久保隆・川畑昭洋・藤井陽一：

肉牛の妊娠期における胎子胎盤機能と新生子の健康状態. 第95回日本繁殖生物学会講演要旨集 p90

松本雄大・三浦健志・岩田徹・大滝英治：

水稻群落上での二酸化炭素と水蒸気フラックス (1), 中国・四国の農業気象, 15, 34-36.

大西和人・三浦健志・岩田徹・大滝英治：

水稻群落上での二酸化炭素と水蒸気フラックス (2), 中国・四国の農業気象, 15, 37-39.

伊勢田絵美・三浦健志・岩田徹・大滝英治：

二酸化炭素の無次元勾配, 中国・四国の農業気象, 15, 46-48.

楊冬梅・三浦健志・岩田徹・大滝英治：

水田での熱収支, 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 97, 56-59.

高田大輔・田上健太郎・福田文夫・久保田尚浩：

モモの赤肉果発生樹における新梢生長と果実発育の特徴. 園学雑71 (別冊2) :129.

福田文夫・松岡寛美・久保田尚浩：

摘果程度の異なるモモ‘清水白桃’における果実肥大と種子発育との関係. 園学雑71 (別冊2) :290.

大野収・福田文夫・久保田尚浩：

モモ‘清水白桃’の果実肥大に及ぼすジベレリン処理時期の影響. 園学雑71 (別冊2) :546.

岸田芳朗・森夏奈子・神澤洋平：

アゾラーアヒルー水稻同時作に関する研究. 第3回日本有機農業学会大会資料, pp37-40.

岸田芳朗・伊芸靖・萬田正治：

アイガモを導入したタイモの無農薬栽培の可能性. 第3回日本有機農業学会大会資料pp41-43.

井上憲一・岸田芳朗・藤栄剛：

合鴨稲作における生産者の農業観に関する考察. 第3回日本有機農業学会大会資料pp55-57.

柳 真一・及川卓郎・宮竹貴久：

アズキゾウムシにおける生活史形質の量的遺伝学的パラメータの推定.

第49回日本生態学会大会 P226.

藤田麻衣子・藤井敦子・古野亜紀・鈴木通弘・

及川卓郎・吉川泰弘・国枝哲夫：

カニクイザルにおける染色体連鎖地図の作成, 日本動物遺伝育種学会第3回大会, P 59.

久保康隆・武内香織・中野龍平・稲葉昭次・

久保田尚浩：

ABA処理したブドウ果実のアントシアニン蓄積とPAL遺伝子発現, 園芸学会雑誌, 71 (別1) :399.

久保田尚浩・佐藤由希子・福田文夫：

モモ‘清水白桃’果実のフェノール含量に及ぼす窒素施用量の影響, 園芸学会中四国支部研究発表要旨, 41:12.

Kubota, N., Kaichi, M., Fukuda, F. Fujii, Y. and Sasabe, Y.:

Chilling requirements among peach cultivars and rootstocks in relation to search for low-chill peaches, First International Workshop on Production Technologies for Low-chill Temperate Fruits, Program & Working Abstract :28.